

文章编号:1671-251X(2009)05-0031-03

基于行波检测的电缆线路故障点定位的研究

刘 豪

(河南城建学院电气与电子工程系,河南 平顶山 467002)

摘要:文章提出了一种采用电压行波测距确定电缆不同故障点位置的方法,介绍了行波极性的确定、行波测距定位的原理。该行波测距法主要是利用电压行波和小波变换模极大值的关系,判断波头极性和捕捉初始行波与故障点反射波波头到达时刻,确定行波运行时间,完成故障测距,确定故障点的位置。仿真实验验证了该方法的可行性。

关键词:电缆;故障测距;行波检测;定位;仿真

中图分类号:TD611;TM247 **文献标识码:**A

0 引言

电力电缆广泛应用于各个领域,但是当电缆发生故障时,由于电缆敷设隐蔽,很难发现故障位置,这给迅速排除故障恢复供电带来困难。如果能够准确地测量电缆故障点的位置,可以大大缩短寻找故障点的时间,迅速排除故障以确保正常供电。目前,通常采用测距方法确定电缆的故障位置。根据检索资料,国外采用该方法已取得了较好的成果,奥地利一家公司生产的测距装置精度可在1 m以内,但价格非常昂贵;国内在测距方面也取得了一定的进展,但测距误差仍有5~8 m,因为在测距时使用的行波波速是恒定不变的光速,这样必然会造成测距的误差。为此,本文采用正向电压行波与反向电压行波极性的不同进行电缆故障测距定位检测,可减少测距误差,从而可以迅速地确定电缆故障位置,便于维修。

1 电缆故障点的检测方法

电缆故障点的检测方法有很多,主要有基于工频基波分量的阻抗法故障测距定位、解微分方程法故障测距定位和行波法故障测距定位等。前2种方法都是利用阻抗法进行故障定位,阻抗法是建立在

对输电线路故障后稳态信号的分析和求解的基础上,长期以来获得了较广泛的关注,并取得了较好的理论和实际研究成果。但是以往在我国由于技术和经济等方面的原因,一般的线路都不装设专门的故障测距装置,都是根据故障录波图形或录波数据采样基于工频基波分量的方法测距,这种方法往往比较粗糙。近年来,随着GPS技术的广泛应用,双端同步数据采集的应用使得基于解微分方程故障测距法可以实现较精确的测距并得到较广泛的应用。尽管如此,由于利用阻抗测距定位的方法与线路参数密切相关,对于高阻接地、多端电源线路及采用了串联补偿装置的交流输电线路或直流输电线路,这种方法很难实现。行波法是利用行波的传播距离在假定波速恒定的情况下与传播时间成正比的原理来完成故障测距定位的。这种方法受线路类型、故障类型、过渡电阻等因素的影响小,因此,越来越受到国内外学者的关注。为了更好地深入研究,本文采用行波故障测距定位方法分析电缆故障位置。

1.1 行波极性的确定

行波分为电压行波和电流行波,而电压行波和电流行波又有前行电压、电流行波和反行电压、电流行波之分。电压行波与电流行波的比值为波阻抗,波阻抗为一定值,故电压行波与电流行波波形相同。假定正电荷向x轴正方向运动而形成的电流行波的极性为正,则正极性前行电压波必然伴随正极性的前向电流波。反之,负极性前行电压波必然伴随负极性前行电流波,即前行电压波和前行电流波极性相同。对于反向行波,正极性的反行电压行波的正极性电荷向x轴反方向运动,与它对应的反向电

收稿日期:2008-12-23

作者简介:刘 豪(1981-),男,安徽砀山人,硕士,助教,2007年毕业于河南理工大学,现主要从事电机学、运动控制系统方面的教学与科研工作,已发表文章5篇。E-mail:liuhao368368@163.com

流行波极性为负。同样,如果反行电压行波为负,则意味着负的电荷向 x 轴反方向运动,与此对应的电流行波极性为正。所以反行电压行波极性与反行电流行波极性相反。由此可以得出,前行电压波与前行电流波极性相同,反行电压波与反行电流波极性相反,而正向电流行波和反向电流行波的极性相同^[1]。

1.2 行波测距定位

行波在无损导线上传播时会在导线周围空间建立电场和磁场,行波沿无损导线的传播过程就是平面电磁场的传播过程。架空线路周围介质是空气,故电磁场的传播速度必然等于光速。而电缆一般都敷设于地下,所以,电缆周围的介质随环境变化而变化^[2~3]。电缆线路如图 1 所示。

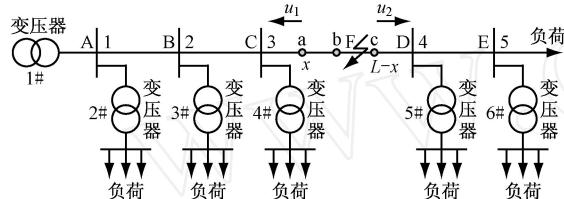


图 1 电缆线路简化图

当在 F 点发生接地故障时,在故障点处同时产生向线路两端传播的同极性的电压行波 u_1 和 u_2 ,当初始行波 u_1 到达母线 C 时,安装在母线 C 处的保护 3 捕捉经过小波变换后的初始行波波头并记录行波波头到达时间。同时,由于阻抗的不连续性,行波在母线 C 处发生反射,反射波到达故障点后,再一次发生反射和透射现象,透射波的极性不变,将继续前行到达母线 D,而反射波将返回母线 C 处,此时的反射波极性与初始电压行波 u_1 的极性相同。当故障点反射波到达保护安装点 3 时,保护装置再次捕捉行波的波头并记录波头的到达时刻。第二次记录的时间与第一次记录的时间差的一半就是行波由故障点 F 到保护安装点 3 所用的时间。根据式(1)即可确定保护安装点到故障点的距离 $x^{[2]}$ 。

$$x = 0.5 t \quad (1)$$

式中: $= 2.2 \times 10^8$ m/s(橡胶绝缘电缆),为行波速度; t 为第二次记录的时间与第一次记录的时间差。

当保护装置设置为只捕捉与初始电压行波波头极性相同的行波时,不捕捉与初始行波波头极性不同的行波波头。所以当初始行波 u_2 到达母线 D 时发生反射,反射波的极性与初始行波 u_2 的极性相

反,反射波在故障点 F 处发生反射和透射,透射波的极性不变,继续向前运动到达保护 3 处,但此时由于行波的极性与初始行波 u_1 的极性相反,保护装置不捕捉行波的波头。所以,端电压反射波不影响行波测距。同理,保护 4 也会测得故障点 F 到保护 4 的距离,从而完成测距定位。

2 EMTP 软件仿真

2.1 软件介绍

目前电力系统仿真多用 EMTP 实现,EMTP 即电磁暂态分析程序,该程序具有规模大、功能强、模拟真实、仿真时速度快、数值计算稳定等优点,其典型的应用是预测电力系统在某个扰动之后变量随时间变化的规律。将 EMTP 的稳态分析和电磁暂态分析相结合,可以作为电力系统谐波分析的有力工具。

2.2 故障点的仿真

电缆线路仿真参数如表 1 所示。

表 1 电缆线路仿真参数表

参数	数量	参数	数量
CD 段电缆	1 000 m	采用频率	5 MHz
电缆	橡胶绝缘电缆	采用点数	10 000

2.2.1 故障发生在小于 CD 段线路的一半处

当故障发生在距离保护安装点的长度大于本段线路全长的一半时,以图 1 中 a 点故障为例分析,如图 2 所示。从图 2 可以看出,当故障发生在距离保护安装点的长度小于本段线路全长的一半时,故障点的反射波将第一个到达保护安装点,其极性和故障初始行波的极性相同,且其小波变换后的模极大值也比较大。而对端母线和相邻母线的反射波到达保护安装点比较滞后,且其极性均与初始行波和故障点反射波的极性相反,其小波变换的模极大值也很小,这些特点对于准确捕捉故障点反射波的波头,进行精确测距是有利的^[4]。

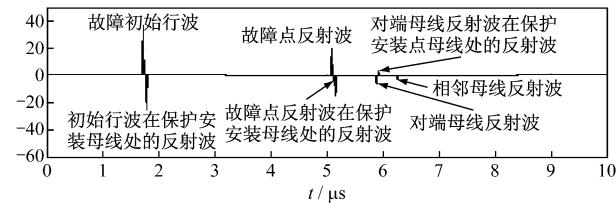


图 2 a 点故障仿真图

仿真过程中,设 CD 段全长为 1 000 m,故障点 b 发生在距 C 点 370 m 处。从图 2 可以看出,故障

初始行波在 1.7×10^{-6} s 处,反射波在 5.05×10^{-6} s 处,由式(1)得:

$$\begin{aligned} x|_m &= 0.5 t \\ &= 0.5 \times 2.2 \times 10^8 \times (5.05 - 1.7) \times 10^{-6} \\ &= 368.5 \end{aligned}$$

与实际距离只差 1.5 m。

2.2.2 故障发生在 CD 段线路的中间处

当故障发生在距离保护安装点的长度大于本段线路全长一半时,以图 1 中 b 点故障为例分析,如图 3 所示。从图 3 可以看出,当故障发生在距离保护安装点的长度等于本段线路全长的一半时,对端母线 D 的反射波透过故障点后与故障点反射波发生重叠,由于二者极性相反,所以,重叠后使叠加波经过小波变换后的模极大值变小,但是变化不大,且其极性仍与故障初始行波和故障点反射波的极性相同。原因是由于故障点过渡电阻比较小,对端母线 D 的反射波在故障点处透射的部分非常小,故经过小波变换后的模极大值也非常小,所以,虽然其极性和故障点反射波极性相反,但与故障点反射波合成后,故障点反射波的小波变换模极大值变化不大,仍然不会影响对故障点反射波波头的捕捉以及测距的精度。

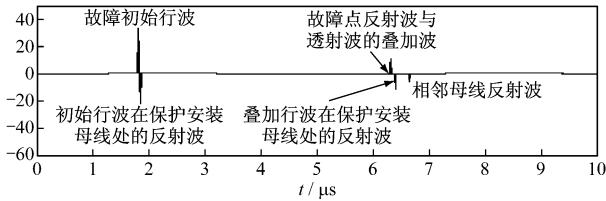


图 3 b 点故障仿真图

仿真过程中,设 CD 段全长为 1 000 m,故障点 b 发生在距 C 点 500 m 处。从图 3 可以看出,故障初始行波在 1.8×10^{-6} s 处,反射波在 6.35×10^{-6} s 处,由公式(1)得:

$$\begin{aligned} x|_m &= 0.5 t \\ &= 0.5 \times 2.2 \times 10^8 \times (6.35 - 1.8) \times 10^{-6} \\ &= 500.5 \end{aligned}$$

与实际距离只差 0.5 m。

2.2.3 故障发生在大于 CD 段线路的一半处

当故障发生在距离保护安装点的长度大于本段线路全长的一半时,以图 1 中 c 点故障为例分析,如图 4 所示。从图 4 可以看出,当故障发生在距离保护安装点的长度大于本段线路全长的一半时,故障点

的反射波将最后一个到达保护安装点,并且故障初始行波和故障点反射波经过小波变换后的模极大值略有减小,这是由于行波在线路中的传播长度增加后能量损耗造成的,而各波头的极性与图 2 相比较没有变化,所以对行波波头的捕捉和测距精度没有影响。

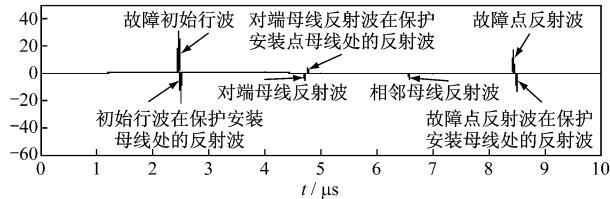


图 4 c 点故障仿真图

仿真过程中,设 CD 段全长为 1 000 m,故障点 c 发生在距 C 点 650 m 处。从图 4 可以看出,故障初始行波在 2.5×10^{-6} s 处,反射波在 8.4×10^{-6} s 处,由公式(1)得:

$$\begin{aligned} x|_m &= 0.5 t \\ &= 0.5 \times 2.2 \times 10^8 \times (8.4 - 2.5) \times 10^{-6} \\ &= 649 \end{aligned}$$

与实际距离只差 1 m。

3 结语

本文提出了一种采用电压行波测距确定电缆不同故障点位置的方法。该方法采用电压行波与小波变换模最大值的关系判别初始行波、故障点反射波以及其它波的极性,以确定电缆线路故障位置。采用 EMTP 软件仿真,验证了该方法的可靠性。该方法可以使误差限制在 1.5 m 之内,比国内同类方法的精度提高约 3 倍,大大提高了电缆线路故障位置确定的准确度,节省了人力、物力,从而提高了电力部门的经济效益。

参考文献:

- [1] 周泽存. 高电压技术 [M]. 北京:水利电力出版社, 1991.
- [2] 卓金玉. 电力电缆设计原理 [M]. 北京:机械工业出版社, 1999.
- [3] 熊元新, 刘 兵. 基于行波的电力电缆故障测距方法 [J]. 高电压技术, 2002, 28(1): 8~10.
- [4] 刘大明, 徐 慧, 郝荣伟, 等. 光缆故障点的准确定位 [J]. 电线电缆, 2006(5).